

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-312847

(43)Date of publication of application : 09.11.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 11-027854

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 04.02.1999

(72)Inventor : UENOHARA HIROYUKI
TATENO KOUTA
KAGAWA TOSHIKI
TADANAGA OSAMU
AMANO CHIKARA
KUROKAWA TAKASHI

(30)Priority

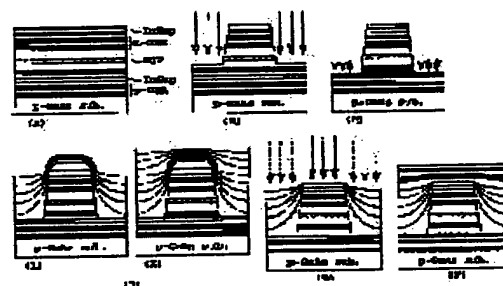
Priority number : 10 43383 Priority date : 25.02.1998 Priority country : JP

(54) VERTICAL RESONATOR TYPE SEMICONDUCTOR LASER AND MANUFACTURE OF THE SAME ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To simplify a transverse mode, and to obtain dynamically stable operation, by making the effective refractive indices of each layer constituting a resonator region higher than those of other each layer and that of a layer configuring a semiconductor buried layer.

SOLUTION: First growth is stated from p-DBR on a P-GaAs substrate, and growth is conducted up to an MQW active layer and n-DBR. The Al composition of a low refractive-index layer having several periods close to the active layers of n-DBR and p-DBR is set at a value lower than those of other DBR sections, a current constriction layer is grown, and the current constriction layer is made lower than an optical resonator section in index distribution. A mask at the time of mesa formation is used as the selection mask of crystal growth as it is, and second growth (the current constriction layer) is formed. The mask on a mesa upper section is removed at a final stage, third growth is performed, and n-DBR is grown in a period section only by the obtaining of reflectivity satisfying laser oscillation conditions.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

29.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of

rejection]

[Kind of final disposal of application other than
the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3472177

[Date of registration] 12.09.2003

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-312847

(43) 公開日 平成11年(1999)11月9日

(51) IntCl.⁶

H 0 1 S 3/18

識別記号

6 5 2

F I

H 0 1 S 3/18

6 5 2

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平11-27854

(22) 出願日 平成11年(1999)2月4日

(31) 優先権主張番号 特願平10-43383

(32) 優先日 平10(1998)2月25日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 00004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 植之原 裕行

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 館野 功太

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 香川 俊明

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

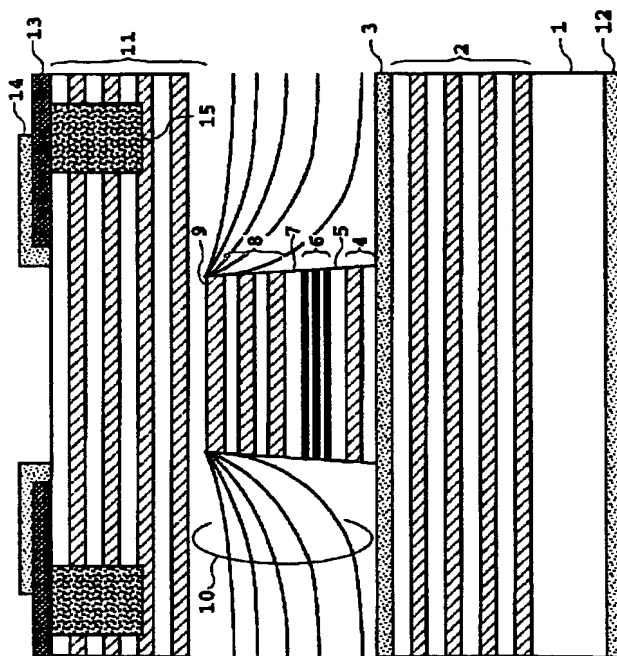
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法および垂直共振器型半導体レーザ

(57) 【要約】

【課題】 安定した動作で高い発光率が得られる垂直共振器型半導体レーザおよびその製造方法を提供。

【解決手段】 垂直共振器型半導体レーザは、基板と、該基板上に設けられた複数の層からなる下部DBR構造部と、該下部DBR構造部上に設けられ、かつ活性層が埋め込まれた少なくとも一つの層からなる半導体埋め込み構造部と、該活性層が埋め込まれた半導体埋め込み構造部上に設けられた複数の層からなる上部DBR構造部とを有する。また、活性層と該活性層の上下に位置する層とによって共振器領域が形成され、さらに該共振器領域を構成する各々の層の実効屈折率は、上部および下部DBR構造を構成する他の各々の層の実効屈折率および半導体埋め込み層を構成する層の実効屈折率よりも高い。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、該基板上に設けられた複数の層からなる下部 DBR 構造部と、該下部 DBR 構造部に設けられ、かつ活性層が埋め込まれた少なくとも一つの層からなる半導体埋め込み構造部と、該活性層上に設けられた複数の層からなる上部 DBR 構造部とを有し、さらに、前記活性層と該活性層の上下に位置する層とによって共振器領域が形成され、さらに該共振器領域を構成する各々の層の実効屈折率は、前記上部および下部 DBR 構造を構成する他の各々の層の実効屈折率および前記半導体埋め込み層を構成する層の実効屈折率よりも高いことを特徴とする垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 2】 前記半導体埋め込み構造部は、 $n-p$ 繰り返し積層構造または $p-n$ 繰り返し積層構造からなることを特徴とする請求項 1 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 3】 前記半導体埋め込み構造部は、半絶縁性層に $n-p$ 繰り返し積層構造または $p-n$ 繰り返し積層構造を積層させた構造からなることを特徴とする請求項 1 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 4】 前記半導体埋め込み部は、半絶縁層のみで形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 5】 前記半導体埋め込み部は一つの層からなり、かつ該層にはイオン注入がなされていることを特徴とする請求項 1 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 6】 前記半導体埋め込み部は、前記共振器領域よりも実効屈折率の低い $AlGaAs$ で形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 7】 前記半導体埋め込み部は、前記共振器領域よりも実効屈折率の低い $InGaP$ で形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 8】 前記下部 DBR 構造部は、前記共振器領域よりも実効屈折率の低い $InGaP$ で形成された層を一層以上有することを特徴とする請求項 1 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 9】 基板と、該基板上に設けられた複数の層からなる下部 DBR 構造部と、該下部 DBR 構造部に設けられ、かつ活性層が埋め込まれた少なくとも一つの層からなる半導体埋め込み構造部と、該活性層が埋め込まれた半導体埋め込み構造部に設けられた複数の層からなる上部 DBR 構造部とを有し、さらに、前記活性層と該活性層の上下に位置する層とによって共振器領域が形成され、さらに該共振器領域を構成する各々の層の実効屈折率は、前記上部および下部 DBR 構造を構成する他の各々の層の実効屈折率および前記半導体埋め込み層を構成する層の実効屈折率よりも高いことを特徴とする垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 10】 前記半導体埋め込み構造部上の前記上部 DBR 構造部の抵抗が、前記活性層上の前記上部 DBR 構造部の抵抗より高いことを特徴とする請求項 9 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 11】 前記半導体埋め込み構造部は、 $n-p$ 繰り返し積層構造または $p-n$ 繰り返し積層構造からなることを特徴とする請求項 9 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 12】 前記半導体埋め込み構造部は、半絶縁性層に $n-p$ 繰り返し積層構造または $p-n$ 繰り返し積層構造を積層させた構造からなることを特徴とする請求項 9 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 13】 前記半導体埋め込み構造部は、半絶縁層のみで形成されることを特徴とする請求項 9 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 14】 前記半導体埋め込み構造部は一つの層からなり、かつ該層にはイオン注入がなされていることを特徴とする請求項 9 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 15】 前記半導体埋め込み構造部は、前記光共振器領域よりも実効屈折率の低い $AlGaAs$ で形成されていることを特徴とする請求項 9 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 16】 前記半導体埋め込み構造部は、前記光共振器領域よりも実効屈折率の低い $InGaP$ で形成されていることを特徴とする請求項 9 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 17】 前記下部 DBR 構造部は、 $InGaP$ で形成された層を一層以上有することを特徴とする請求項 1 に記載の垂直共振器型半導体レーザ。

【請求項 18】 基板と、該基板上に設けられた複数の層からなる下部 DBR 構造部と、該下部 DBR 構造部に設けられ、かつ活性層が埋め込まれた少なくとも一つの層からなる半導体埋め込み構造部と、該活性層が埋め込まれた半導体埋め込み構造部に設けられた複数の層からなる上部 DBR 構造部とを有する垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法であって、

基板に下部 DBR 構造部から活性層または上部 DBR 構造部の一部まで成長させる第 1 の成長工程と、前記活性層の下部までエッチングによりメサ構造部を形成する工程と、

半導体埋め込み構造部を形成して前記活性層の埋め込みを行う第 2 の成長工程と、

前記半導体埋め込み構造部の上に上部 DBR 構造部を再成長させる第 3 の成長工程とを有し、さらに、

前記活性層と該活性層の上下に位置する層とによって共振器領域を設け、該共振器領域を構成する各々の層の実効屈折率が、前記上部および下部 DBR 構造を構成する他の各々の層の実効屈折率および前記半導体埋め込み構造部を構成する層の実効屈折率よりも高くするように、

混晶の組成を制御することを特徴とする垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 19】 前記半導体埋め込み構造部の厚さが前記メサ構造部の高さよりも低いことを特徴とする請求項 18 に記載の垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 20】 前記半導体埋め込み構造部は、 $n-p$ 繰り返し積層構造または $p-n$ 繰り返し積層構造からなることを特徴とする請求項 18 に記載の垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 21】 前記半導体埋め込み構造部は、半絶縁性層に $n-p$ 繰り返し積層構造または $p-n$ 繰り返し積層構造を積層させた構造からなることを特徴とする請求項 18 に記載の垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 22】 前記半導体埋め込み部は、半絶縁層のみで形成されることを特徴とする請求項 18 に記載の垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 23】 前記半導体埋め込み部は一つの層からなり、かつ該層にはイオン注入がなされていることを特徴とする請求項 18 に記載の垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 24】 前記半導体埋め込み部は、前記光共振器領域よりも実効屈折率の低い $AlGaAs$ で形成されていることを特徴とする請求項 18 に記載の垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 25】 前記半導体埋め込み部は、前記光共振器領域よりも実効屈折率の低い $InGaP$ で形成されていることを特徴とする請求項 18 に記載の垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 26】 前記下部 DBR 構造部は、 $InGaP$ で形成された層を一層以上有することを特徴とする請求項 18 に記載の垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 27】 前記第 1 の成長工程において、下部 DBR 構造部は、最終層を $InGaP$ からなる層とすることを特徴とする請求項 18 に記載の垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 28】 請求項 18 ないし 27 のいずれか一項に記載の製造方法によって製造されたことを特徴とする垂直共振器型半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、チップ間あるいはボード間を光で結ぶ光インターコネクションや、2次元並列信号処理を行うための光源である、垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法および垂直共振器型半導体レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】 垂直共振器型半導体レーザは、2次元ア

レー化が容易であること、発光パターンが円形のためファイバーとの高効率な結合がカップリング用のレンズ無しでも可能であることから、光インターコネクションや2次元並列信号処理用の光源として重要であり、さらには極微共振器構造による極低閾値化が可能であることから、低消費電力の目的にも重要であると考えられる。

【0003】 従来の垂直共振器型半導体レーザの結晶面に垂直方向の断面図を図 1 に示す（参考文献：（1）B.-S. Yoo, H. Y. Chu, H.-H. Park, H. G. Lee and J. Lee, IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 33, No. 10, 1997, pp. 1794. （2）C. J. Chang-Hasnain, Y. A. Wu, G. S. Li, G. Hasnain, K. D. Choquete, C. Caneau and L. T. Florez, Applied Physics Letters, vol. 63, No. 10, 1993, pp. 1307）。この素子は、 $p-GaAs$ 基板 101 上に順に $p-Al_yGa_{1-y}As/Al_zGa_{1-z}As$ ($0 < y < z$) 分布反射型 (distributed Bragg reflector, DBR) 多層膜反射鏡 102（斜線部が $Al_zGa_{1-z}As$ 、白い部分が $Al_yGa_{1-y}As$ ）、 $non-doped-Al_wGa_{1-w}As$ 下部スペーサ層 103、 $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ ($x \leq w$) 多重量子井戸活性層 104、 $non-doped-Al_wGa_{1-w}As$ 上部スペーサ層 105、 $n-Al_yGa_{1-y}As/Al_zGa_{1-z}As$ ($0 < y < z$) DBR 反射鏡 106、半導体埋め込み層 107、下部電極 108、絶縁膜 109、上部電極 110、素子分離用構造 111 より形成される。DBR の各層は、発振波長を各層の屈折率で割った値の 4 分の 1 の膜厚に設定する。

【0004】 図 1 の素子においては、埋め込み層 107 として $AlGaAs/AlGaAsn-i-p-i$ 構造、あるいはアモルファス $GaAs$ 層が報告され、いずれも単一横モードでの発振動作が得られている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前述の構造においては屈折率導波型による光閉じ込めではなく、アンチ・ガイド型導波路構造となる。従って、原理的には単一横モードではなく複数の横モードが存在することになるが、導波路の外側の部分の損失が高い構造を利用して高次の横モードをカットすることにより、単一横モード動作を得ている。しかしながら、活性層内部でキャリア密度の大きく変動する動特性においては、活性層内部のキャリア密度の分布次第で高次モードがたつ不安定な動作を引き起こす問題点がある。

【0006】 したがって、本発明の第 1 の目的は、従来の技術と比較して横モードが単一で動的に安定な動作が得られる垂直共振器型半導体レーザを提供することである。

【0007】 本発明の第 2 の目的は、従来の技術と比較して素子容量が小さく、高速変調特性が得られ、さらに従来の技術と比較して横モードが単一で動的に安定な動作が得られる垂直共振器型半導体レーザを提供すること

である。

【0008】本発明の第3の目的は、従来の技術と比較して横モードが単一で動的に安定な動作が得られる垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法を提供することである。

【0009】本発明の第4の目的は、従来の技術と比較して素子容量が小さく、高速変調特性が得られ、さらに従来の技術と比較して横モードが単一で動的に安定な動作が得られる垂直共振器型半導体レーザ製造方法を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明に基づく垂直共振器型半導体レーザは、基板と、該基板上に設けられた複数の層からなる下部DBR構造部と、該下部DBR構造部に設けられ、かつ活性層が埋め込まれた少なくとも一つの層からなる半導体埋め込み構造部と、該活性層上に設けられた複数の層からなる上部DBR構造部とを有し、さらに、前記活性層と該活性層の上下に位置する層とによって共振器領域が形成され、さらに該共振器領域を構成する各々の層の実効屈折率は、前記上部および下部DBR構造を構成する他の各々の層の実効屈折率および前記半導体埋め込み層を構成する層の実効屈折率よりも高いことを特徴とする。

【0011】好ましくは、前記半導体埋め込み構造部は、半絶縁性層に $n-p$ 繰り返し積層構造または $p-n$ 繰り返し積層構造を積層させた構造からなる。

【0012】好ましくは、前記半導体埋め込み構造部は、半絶縁性 $n-p$ 繰り返し積層構造または半絶縁性 $p-n$ 繰り返し積層構造からなる。

【0013】好ましくは、前記半導体埋め込み部は、半絶縁層のみで形成される。

【0014】好ましくは、前記半導体埋め込み部は一つの層からなり、かつ該層にはイオン注入がなされている。

【0015】好ましくは、前記半導体埋め込み部は、前記共振器領域よりも実効屈折率の低い $AlGaAs$ で形成されている。

【0016】好ましくは、前記半導体埋め込み部は、前記共振器領域よりも実効屈折率の低い $InGaP$ で形成されている。

【0017】好ましくは、前記下部DBR構造部は、前記共振器領域よりも実効屈折率の低い $InGaP$ で形成された層を一層以上有する。

【0018】本発明に基づく垂直共振器型半導体レーザは、基板と、該基板上に設けられた複数の層からなる下部DBR構造部と、該下部DBR構造部に設けられ、かつ活性層が埋め込まれた少なくとも一つの層からなる半導体埋め込み構造部と、該活性層が埋め込まれた半導体埋め込み構造部に設けられた複数の層からなる上部DBR構造部とを有し、さらに、前記活性層と該活性層

の上下に位置する層とによって共振器領域が形成され、さらに該共振器領域を構成する各々の層の実効屈折率は、前記上部および下部DBR構造を構成する他の各々の層の実効屈折率および前記半導体埋め込み層を構成する層の実効屈折率よりも高いことを特徴とする。

【0019】好ましくは、前記半導体埋め込み部上の前記上部DBR構造部の抵抗が、前記活性層上の前記上部DBR構造部の抵抗より高い。

【0020】好ましくは、前記半導体埋め込み構造部は、 $n-p$ 繰り返し積層構造または $p-n$ 繰り返し積層構造からなる。

【0021】好ましくは、前記半導体埋め込み構造部は、半絶縁性層に $n-p$ 繰り返し積層構造または $p-n$ 繰り返し積層構造を積層させた構造からなる。

【0022】好ましくは、前記半導体埋め込み部は、半絶縁層のみで形成される。

【0023】好ましくは、前記半導体埋め込み部は一つの層からなり、かつ該層にはイオン注入がなされている。

【0024】好ましくは、前記半導体埋め込み部は、前記光共振器領域よりも実効屈折率の低い $AlGaAs$ で形成されている。

【0025】好ましくは、前記半導体埋め込み部は、前記光共振器領域よりも実効屈折率の低い $InGaP$ で形成されている。

【0026】好ましくは、前記下部DBR構造部は、 $InGaP$ で形成された層を一層以上有する。

【0027】本発明に基づく垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法は、基板と、該基板上に設けられた複数の層からなる下部DBR構造部と、該下部DBR構造部に設けられ、かつ活性層が埋め込まれた少なくとも一つの層からなる半導体埋め込み構造部と、該活性層が埋め込まれた半導体埋め込み構造部に設けられた複数の層からなる上部DBR構造部とを有する垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法であって、基板に下部DBR構造部から活性層または上部DBR構造部の一部まで成長させる第1の成長工程と、前記活性層の下部までエッチングによりメサ構造部を形成する工程と、半導体埋め込み構造部を形成して前記活性層の埋め込みを行う第2の成長工程と、前記半導体埋め込み構造部の上に上部DBR構造部を再成長する第3の成長工程とを有し、さらに、前記活性層と該活性層の上下に位置する層とによって共振器領域を設け、該共振器領域を構成する各々の層の実効屈折率が、前記上部および下部DBR構造を構成する他の各々の層の実効屈折率および前記半導体埋め込み構造部を構成する層の実効屈折率よりも高くするように、混晶の組成を制御することを特徴とする。

【0028】好ましくは、前記半導体埋め込み構造部の厚さが前記メサ構造部の高さよりも低い。

【0029】好ましくは、前記半導体埋め込み構造部

は、 $n-p$ 繰り返し積層構造または $p-n$ 繰り返し積層構造からなる。

【0030】好ましくは、前記半導体埋め込み構造部は、半絶縁性層に $n-p$ 繰り返し積層構造または $p-n$ 繰り返し積層構造を積層させた構造からなる。

【0031】好ましくは、前記半導体埋め込み部は、半絶縁層のみで形成される。

【0032】好ましくは、前記半導体埋め込み部は一つの層からなり、かつ該層にはイオン注入がなされている。

【0033】好ましくは、前記半導体埋め込み部は、前記光共振器領域よりも実効屈折率の低い $AlGaAs$ で形成されている。

【0034】好ましくは、前記半導体埋め込み部は、前記光共振器領域よりも実効屈折率の低い $InGaP$ で形成されている。

【0035】好ましくは、前記下部 DBR 構造部は、 $InGaP$ で形成された層を一層以上有する。

【0036】好ましくは、前記第 1 の成長工程において、下部 DBR 構造部は、最終層を $InGaP$ からなる層とする。

【0037】さらに、本発明に基づく垂直共振器型半導体レーザは、上記の製造方法によって製造されたことを特徴とする。

【0038】

【発明の実施の形態】以下に図面を参照して本発明の一実施例を説明する。

【0039】＜第 1 の実施形態＞図 2 は本実施形態の結晶成長面に垂直な方向の断面図である。この構造は、 $p-GaAs$ 基板 1 上に順に $p-Al_yGa_{1-y}As / Al_zGa_{1-z}As$ ($0 < y < z$) 分布反射型 (distributed Bragg reflector, DBR) 多層膜反射鏡 2 (斜線部が $Al_zGa_{1-z}As$ 、白い部分が $Al_yGa_{1-y}As$)、 $p-InGaP$ エッチングストップ層 3、 $p-Al_yGa_{1-y}As / Al_uGa_{1-u}As$ ($0 < y < u < z$) 分布反射型 (distributed Bragg reflector, DBR) 多層膜反射鏡 4 (斜線部が $Al_uGa_{1-u}As$ 、白い部分が $Al_yGa_{1-y}As$)、 $non-doped-Al_wGa_{1-w}As$ 下部スペーサ層 5、 $GaAs / Al_xGa_{1-x}As$ 多重量子井戸活性層 6、 $non-doped-Al_wGa_{1-w}As$ 上部スペーサ層 7、 $n-Al_yGa_{1-y}As / Al_uGa_{1-u}As$ ($0 < y < u < z$) 分布反射型 (distributed Bragg reflector, DBR) 多層膜反射鏡 8 (斜線部が $Al_uGa_{1-u}As$ 、白い部分が $Al_yGa_{1-y}As$)、 $n-InGaP$ 第 1 回目成長最終層 9、 $AlGaAs$ または $InGaP$ 半導体埋め込み層 (第 2 回目成長層) 10、 $n-Al_yGa_{1-y}As / Al_zGa_{1-z}As$ ($0 < y < z$) DBR 反射鏡 (第 3 回目成長層) 11、下部電極 12、絶縁膜 13、上部電極 14、素子分離用構造 15 より形成され

る。DBR の各層は、発振波長を各層の屈折率で割った値の 4 分の 1 の膜厚に設定する。

【0040】図 3A～図 3F は成長の工程を示したものである。第 1 回目の成長は $p-GaAs$ 基板上であるため $p-DBR$ より開始し、MQW 活性層、 $n-DBR$ (の一部) まで成長を行う (図 3A)。 $n-DBR$ および $p-DBR$ の活性層に近い数周期 (後の工程でメサを形成する深さに相当する厚み) の低屈折率層の Al 組成を他の DBR 部の Al 組成よりも低く設定し、電流狭窄層を成長後、屈折率分布が光の共振器部分より電流狭窄層が低くなる、いわゆる屈折率導波路を形成される。 Al 組成の低い $AlGaAs$ 以外に、光の共振器部分の実効屈折率が電流狭窄層よりも高くなるような屈折率を持つ $InGa(As)P$ を用いた場合にも同様の効果がある。上記の活性層近傍において Al 組成が低く設定される DBR 構造の周期は、DBR への浸透深さ以上であると光の閉じ込め効果として十分である。 $p-DBR$ の低屈折率層の一部に $p-InGaP$ を用いるが、これはエッチング・ストップ層として用いることを目的とする。また最終層は $n-InGaP$ とする。この目的は、再成長時の表面が $AlGaAs$ の場合、表面酸化層の影響が大きく、 Al 組成が大きくなるほど再成長層として高品質の層が得にくくなるため、表面酸化の影響の小さい Al を含まない層を用いるためである。次に、フォトリソ、 SiO_2 などの絶縁膜を用いてメサ構造を形成する (図 3B)。形成方法としてはウェット・エッチング、ドライ・エッチングいずれも有効である。エッチング深さは、光学的モニターあるいはエッチング速度を考慮に入れて $p-InGaP$ エッチング・ストップ層の手前で止める。その後、選択エッチャントを用いて $p-InGaP$ の表面を露出させる (図 3C)。メサ形成時のマスクをそのまま結晶成長の選択マスクとして利用することによって第 2 回目成長 (電流狭窄層) を形成する (図 3D の (1))。半導体埋め込み層である電流狭窄層としては、順に $p-n-p-n-\dots$ のドーピング型を持つ $AlGaAs$ あるいは $InGaP$ 層を用いる。 $AlGaAs$ を電流狭窄層に用いる場合の Al 組成は、たとえば活性層近傍の上下 DBR 構造が $Al_{0.15}Ga_{0.35}As / Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ にて構成されている場合は 0.33 以上に設定する。 $InGaP$ の波長 0.85 μm での屈折率は 3.34 なので、上記 Al 組成以下の DBR 構造において屈折率導波路構造が形成される。または高抵抗の半絶縁性層を再成長第 1 層とする。その場合はより一層電流狭窄の効果がある。メサ最上層のマスクには多結晶が通常積層されるので、フォトリソをマスクとしてレーザ共振器部分の多結晶をエッチングにて除去する (図 3E)。除去方法は、ウェット・エッチング、ドライ・エッチング、あるいはその両者の組み合わせいずれも有効である。あるいは、メサ部分とメサ以外の部分の段差は成長層厚が厚くなるに従って小

さくなる傾向を利用して、段差が1000Å程度になるまで再成長を行い(図3Dの(2))。その後ウェット・エッチングまたはドライ・エッチングによってメサ上のマスクが露出するまでマスク無しで一様にエッチングを行う方法も有効である。メサ最上層のマスクに多結晶の積層されない成長条件を用いれば、図3Eのエッチング工程が省略できてプロセスの簡略化が実現できる。最終段階として、メサ上部のマスクを除去後、第三回目成長を行い(図3(F))、レーザ発振条件を満足する反射率を得られるだけの周期分、 n -DBRを成長する。

【0041】図4は本実施形態の他の例の結晶成長面に垂直方向の断面図を示したものである。構造としては図2と大差がないが、半導体埋込層16が単層で形成されていることを特徴とする。構成としてはAlGaAsまたはInGaPであり、ノンドープあるいは高抵抗特性を改善する目的でCrなどの金属をドーピングする。また O^+ イオンをドーピングすることにより、より効果的となる。

【0042】図2および図4に示した垂直共振器型半導体レーザの素子特性を説明したのが図5Aおよび図5Bである。5Aは電流対光出力特性ならびに電流対電圧特性である。実線で示す通り、破線の従来構造と比較して実線で示された本願発明による新構造においては電極層の面積が大きくなるために直列抵抗の低減が実現される。またアンチ・ガイド型導波路のように高次モードに対して損失を生じる構造ではなく、本質的に単一モードのみが励振される構造であるため、活性層から発光成分が発振モードに対して効率良く結合し、効率の向上が実現される。さらに、活性層界面の非発光再結合が抑制されるために閾値の低減とさらなる効率の上昇が実現される。

【0043】図5Bの発光遠視野像(Far Field Pattern, FFP)を異なる電流駆動値に対して示したものである。発振直後は従来構造(1)も本発明(1)も単峰性を示し、基本横モード動作であるが、電流値が増大するにともなって従来構造では双方性の高次横モードが支配的になるのに対して(2)、(3)、本発明においては単峰性が維持される。

【0044】以上は p -GaAs基板上の構造について述べたものであるが、 n -GaAs基板上の構造の場合にも同様の効果がある。InGaPエッチ・ストップ層を用いた構造について述べたものだが、他のDBR部と異なるAl組成のAlGaAs層を用いた構造においても同様の効果を得ることが可能である。第1回目成長の最終層をInGaPとした場合について述べているが、Al組成を低く押さえたAlGaAs層の場合にも同様の効果がある。AlGaAs/GaAs系について述べたものだが、InGaAs/GaAs系においても同様の効果を得ることが可能である。

【0045】以上説明した通り、本実施形態例では、垂

直共振器型半導体レーザ素子の製造方法および垂直共振器型半導体レーザにおいて、活性層上部のDBR(の一部)まで1回目に成長し、メサ構造を形成した後、屈折率導波型の共振器を形成するようにInGaPあるいは組成制御されたAlGaAs電流狭窄層すなわち半導体埋込層を2回目の成長にて形成し、3回目の成長にて必要とされる残りのDBR構造を形成することによって、横モードが静的のみならず動的にも基本モードにおいて安定に動作し、なおかつ低閾値電流と低い直列抵抗、高い発光効率の得られる垂直共振器型半導体レーザを形成できる効果がある。

【0046】<第2の実施形態>図6は本実施例の結晶成長面に垂直方向の断面図である。この構造は、 p -GaAs基板1上に順に p -Al_yGa_{1-y}As/Al_zGa_{1-z}As ($0 < y < z$) 分布反射型(distributed Bragg reflector, DBR)多層膜反射鏡2(斜線部がAl_zGa_{1-z}As、白い部分がAl_yGa_{1-y}As)、 p -InGaPエッチングストップ層3、 p -Al_yGa_{1-y}As/Al_uGa_{1-u}As ($0 < y < u < z$) 分布反射型(distributed Bragg reflector, DBR)多層膜反射鏡4(斜線部がAl_zGa_{1-z}As、白い部分がAl_yGa_{1-y}As)、non-doped-Al_wGa_{1-w}As下部スペーサ層5、GaAs/Al_xGa_{1-x}As多重量子井戸活性層6、non-doped-Al_wGa_{1-w}As上部スペーサ層7、 n -Al_yGa_{1-y}As/Al_uGa_{1-u}As ($0 < y < u < z$) 分布反射型(distributed Bragg reflector, DBR)多層膜反射鏡8(斜線部がAl_zGa_{1-z}As、白い部分がAl_yGa_{1-y}As)、 n -Al_yGa_{1-y}As/Al_zGa_{1-z}As ($0 < y < z$) DBR反射鏡9、AlGaAsまたはInGaP半導体埋込層10、下部電極12、絶縁膜13、上部電極14、素子分離用構造15より形成される。以上の構造のうち、光の電界成分がほぼ閉じ込められる範囲として、参照符号4~8に示す●の共振器部分を形成する。DBRの各層は、発振波長を各層の屈折率で割った値の4分の1の膜厚に設定する。

【0047】以下に成長の工程を述べる。第1回目の成長は p -GaAs基板上であるため p -DBRより開始し、MQW活性層、 n -DBRまで成長を行う(図5(A))。 n -DBR及び p -DBRの活性層に近い数周期(後の工程でメサを形成する深さに相当する厚み)の低屈折率層のAl組成を他のDBR部のAl組成よりも低く設定し、電流狭窄埋込層を成長後、屈折率分布が光の共振器部分より電流狭窄層が低くなる、いわゆる屈折率導波路を形成させる。Al組成の低いAlGaAs以外に、光の共振器部分の実効屈折率を電流狭窄層よりも高くなるような屈折率を持つInGa(As)Pを用いた場合にも同様の効果がある。上記の活性層近傍においてAl組成が低く設定されるDBR構造の周期は、DBRへの浸透深さ以上であると光の閉じ込め効果として

十分である。p-DBRの低屈折率層の一部にp-InGaPを用いるが、これはエッチング・ストップ層として用いることを目的とする。また、再成長時の表面がAlGaAsの場合、表面酸化層の影響が大きく、Al組成が大きくなるほど再成長層として高品質の層が得にくくなるため、表面酸化の影響の小さいAlを含まない層を用いる目的も兼ねる。もちろん、Al組成が0.1から0.2程度と低く、表面の酸化が結晶の再成長に大きな影響を及ぼさない場合は、プロセス工程において適切にエッチャントを選ぶことによりAlGaAs層を用いても同様の効果が期待できる。次に、フォトレジスト、SiO₂などの絶縁膜を用いてメサ構造を形成する。形成方法としてはウエット・エッチング、ドライ・エッチングいずれも有効である。エッチング深さは、光学的モニターあるいはエッチング速度を考慮に入れてp-InGaPエッチング・ストップ層の手前で止める。その後、選択エッチャントを用いてp-InGaPの表面を露出させる。メサ形成時のマスクをそのまま結晶成長の選択マスクとして利用することによって第2回目の成長層（電流狭窄埋込層）を形成する。電流狭窄層としては、順にp-n-p-n...のドーピング型を持つAlGaAs、あるいはInGaP層を用いる。AlGaAsを電流狭窄層に用いる場合のAl組成は、たとえば活性層近傍の上下DBR構造がAl_{0.15}Ga_{0.85}As/Al_{0.5}Ga_{0.5}Asにて構成されている場合は0.33以上に設定する。InGaPの波長0.85μmでの屈折率は3.34なので、上記Al組成以下のDBR構造において屈折率導波路構造が形成される。または高抵抗の半絶縁性層を再成長第1層とする。その場合はより一層電流狭窄の効果がある。最終段階として、メサ上部のマスクを除去後、絶縁膜形成、電流を流すための窓開け、電極形成し、素子を完成する。

【0048】図6に示した垂直共振器型半導体レーザの素子特性を説明したのが図7Aおよび図7Bである。図7Aは電流対光出力特性ならびに電流対電圧特性である。素子抵抗に関しては、従来構造、本構造ともにほとんど差がない。閾値電流に関しては、DBRの反射率も従来構造と同じになるよう設計できるが、本構造ではアンチ・ガイド型導波路のように高次モードに対して損失を生じる構造ではなく、本質的に単一モードのみが励振される構造であるため、閾値電流の低減が実現され、また活性層からの発光成分が発振モードに対して効率良く結合し、効率の向上が実現される。図7Bは発光遠視野像(Far Field Pattern FFP)を異なる電流駆動値に対して示したものである。発振直後は従来構造(1)も本発明(i)も単峰性を示し、基本横モード動作であるが、電流値が増大するにともなう従来構造では双方向性の高次横モードが支配的になるのに対して(2),

(3)、本発明においては単峰性が維持される。

【0049】以上はp-GaAs基板上の構造について

述べたものであるが、n-GaAs基板上の構造の場合にも同様の効果がある。InGaPエッチ・ストップ層を用いた構造について述べたものだが、他のDBR部と異なるAl組成のAlGaAs層を用いた構造においても同様の効果を得ることが可能である。第1回目成長の最終層をInGaPとした場合について述べているが、Al組成を低く押さえたAlGaAs層の場合にも同様の効果がある。AlGaAs/GaAs系について述べたものだが、InGaAs/GaAs系においても同様の効果を得ることが可能である。

【0050】以上説明した通り、本実施形態では、半導体埋込構造を有する垂直共振器型半導体レーザにおいて、光の共振器部分よりも埋め込み層の実効屈折率が低くなるように設定することにより、横モードが静的のみならず動的にも基本モードにおいて安定に動作し、なおかつ低閾値電流と、高い発光効率の得られる垂直共振器型半導体レーザを形成する効果がある。

【0051】<第3の実施形態>図8は本実施例の結晶成長面に垂直方向の断面図である。この構造は、p-GaAs基板1上に順にp-Al_yGa_{1-y}As/Al_zGa_{1-z}As (0<y<z) 分布反射型(distributed Bragg reflector, DBR) 多層膜反射鏡2 (斜線部がAl_zGa_{1-z}As、白い部分がAl_yGa_{1-y}As)、p-InGaPエッチングストップ層3、p-Al_yGa_{1-y}As/Al_zGa_{1-z}As (0<y<z) 分布反射型(distributed Bragg reflector, DBR) 多層膜反射鏡2 (斜線部がAl_zGa_{1-z}As、白い部分がAl_yGa_{1-y}As)、non-doped-Al_wGa_{1-w}As下部スペーサ層5、GaAs/Al_xGa_{1-x}As多重量子井戸活性層6、non-doped-Al_yGa_{1-y}As上部スペーサ層7、n-Al_yGa_{1-y}As/Al_uGa_{1-u}As (0<y<z) 分布反射型(distributed Bragg reflector, DBR) 多層膜反射鏡8、n-InGaP第1回目成長最終層9、AlGaAsまたはInGaP半導体埋め込み層(第2回目成長層)10、n-Al_yGa_{1-y}As/Al_zGa_{1-z}As (0<y<z) DBR反射鏡(第3回目成長層)11、下部電極12、絶縁膜13、上部電極14、素子分離用構造15より形成される。DBRの各層は、発振波長の各層の屈折率で割った値の4分の1の膜厚に設定する。

【0052】ここで構造作製プロセスについて述べる。図8の構造を作製する際は、大きく分けて3段階の成長に分けられる。第1回目の成長はp-GaAs基板上にp-DBRより開始し、MQW活性層、n-DBR(の一部)まで成長を行う(図8の構造2から9までに相当)。n-DBRおよびp-DBRの活性層に近い数周期(後の工程でメサを形成する深さに相当する厚み)の低屈折率層のAl組成を他のDBR部のAl組成よりも低く設定し、電流狭窄層を成長後、屈折率分布が光の共

振器部分より電流狭窄層が低くなる、いわゆる屈折率導波路を形成される。p-DBRの低屈折率層の一部にp-InGaPを用いるが、これはエッチング・ストップ層として用いることを目的とする。また最終層はn-InGaPとする。この目的は、再成長時の表面がAlGaAsの場合、表面酸化層の影響が大きく、Al組成が大きくなるほど再成長層として高品質の層が得にくくなるため、表面酸化の影響の小さいAlを含まない層を用いるためである。もちろん、Al組成が0.1から0.2程度と低く、表面の酸化が結晶の再成長に大きな影響を及ぼさない場合は、プロセス工程において適切なエッチャントを選ぶことによりAlGaAs層を用いても同様の効果が期待できる。次に、フォトリソスト、SiO₂などの絶縁膜を用いてメサ構造を形成する。形成方法としてはウエット・エッチング、ドライ・エッチングいずれも有効である。エッチング深さは、光学的モニターあるいはエッチング速度を考慮に入れてp-InGaPエッチング・ストップ層の手前で止める。その後、選択エッチャントを用いてp-InGaPの表面を露出させる。メサ形成時のマスクをそのまま結晶成長の選択マスクとして利用することによって第2回目成長（電流狭窄層、構造10に相当）を形成する。

【0053】この時、平坦部での成長厚さをメサ高さよりも意図的に低く設定する。すると、メサは電流狭窄層に対して凸になる。この形状の上に結晶を再成長すると、メサの外側（あるいは面内で低い方向）に成長速度の速い遷移領域16が現れる。成長時のドーバント流量は一定なので、成長速度が速くなる領域では他の領域と比較してドーピング濃度が低くなり、電流狭窄層の膜厚設定により2分の1ないし3分の1に低減される。半導体DBRの膜厚方向の抵抗はドーピング濃度に対して敏感であり、前述のドーピング濃度の変化により抵抗としては1桁以上の差を得ることができる。上下電極に順方向に電圧を印加した場合、この抵抗の高い遷移領域より内側に有効に電界が集中することになる。従って電極の外側の部分の素子内容への寄与分が低減される。なおかつ、電極面積はメサ径よりも大きいため、素子抵抗を大きく増加させることがない。総合的にCR自定数を従来構造と比較して低減することになり、高速変調特性を改善する作用がある。

【0054】電流狭窄層としては、順にp-n-p-n・・・のドーピング型を持つAlGaAs、あるいはInGaP層を用いる。または高抵抗の半絶縁性層を再成長第1層とする。その場合はより一層電流狭窄の効果がある。メサ最上層のマスクには多結晶が通常積層されるので、フォトリソストをマスクとしてレーザ共振器部分の多結晶をエッチングにて除去する（図3E）。除去方法は、ウエット・エッチング、ドライ・エッチング、あるいはその両者の組み合わせいずれも有効である。また、メサ最上層のマスクに多結晶の積層されない成長条

件を用いれば、図3Eのエッチング工程が省略できてプロセスの簡略化が実現できる。最終段階として、メサ上部のマスクを除去後、第3回目成長をおこない（構造11に相当）、レーザ発振条件を満足する反射率を得られるだけの周期分、n-DBRを成長する。

【0055】図8に示した垂直共振器型半導体レーザの素子特性を説明したのが図9Aおよび図9Bである。図中、実線が本実施形態の場合で、破線が実施形態1または図10に示すような従来構造（参考文献：K.L.Lear, et al. Electronics Letters, vol.32, No.5, pp.457-58, 1996）の場合である。図9Aは素子容量対電圧特性である。新構造により素子容量の低減が実現された様子を示している。

【0056】図9Bは変調特性を示したものである。図9Aで示した素子容量の低減の効果により、変調特性が改善された素子を示している。

【0057】本実施形態では、屈折率導波路構造としたが、屈折率導波路構造をとらない場合でも、素子容量の低減に関しては、同様の効果がある。

【0058】以上はp-GaAs基板上の構造について述べたものであるが、n-GaAs基板上の構造の場合にも同様の効果がある。AlGaAs/GaAs系について述べたものだが、InGaAs/GaAs系においても同様の効果を得ることが可能である。

【0059】

【発明の効果】以上説明した通り、本実施形態では、垂直共振器型半導体レーザにおいて、活性層上部のDBR（の一部）まで1回目に成長し、メサ構造を形成した後、2回目の成長にて形成する電流狭窄層の厚みをメサ高さよりも低く設定して抵抗の高い遷移領域をメサの外側に形成し、3回目の成長にて必要とされる残りのDBR構造を形成することによって、素子抵抗を大きく劣化させることなく素子容量を低減し、高速変調の改善が得られる垂直共振器型半導体レーザを形成する効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の垂直共振器型半導体レーザの断面図である。

【図2】本発明の第1の実施形態にもとづく垂直共振器型半導体レーザ素子の結晶成長面に垂直な方向の断面図である。

【図3】AないしFは、図2に示す垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法の各工程を説明するための断面図である。

【図4】本発明の第1の実施形態にもとづく垂直共振器型半導体レーザ素子の結晶成長面に垂直な方向の断面図である。

【図5】AおよびBは、本発明の第1の実施形態にもとづく垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法によって製造される垂直共振器型半導体レーザの特性を説明する

ためのグラフで、Aは本発明の垂直共振器型半導体レーザの電流対光出力特性および電流対電圧特性図、Bは本発明の発光遠視野像を従来の発光遠視野像と比較する図である。

【図6】本発明の第2の実施形態にもとづく垂直共振器型半導体レーザ素子の結晶成長面に垂直な方向の断面図である。

【図7】AおよびBは、本発明の第1の実施形態にもとづく垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法によって製造される垂直共振器型半導体レーザの特性を説明するためのグラフで、Aは本発明の垂直共振器型半導体レーザの電流対光出力特性および電流対電圧特性図、Bは本発明の発光遠視野像を従来の発光遠視野像と比較する図である。

【図8】本発明の第3の実施形態にもとづく垂直共振器型半導体レーザ素子の結晶成長面に垂直な方向の断面図である。

【図9】AおよびBは、本発明の第1の実施形態にもとづく垂直共振器型半導体レーザ素子の製造方法によって製造される垂直共振器型半導体レーザの特性を説明するためのグラフで、Aは素子容量対電圧特性図、Bは変調応答対変調周波数特性図である。

【図10】従来の垂直共振器型半導体レーザの断面図である。

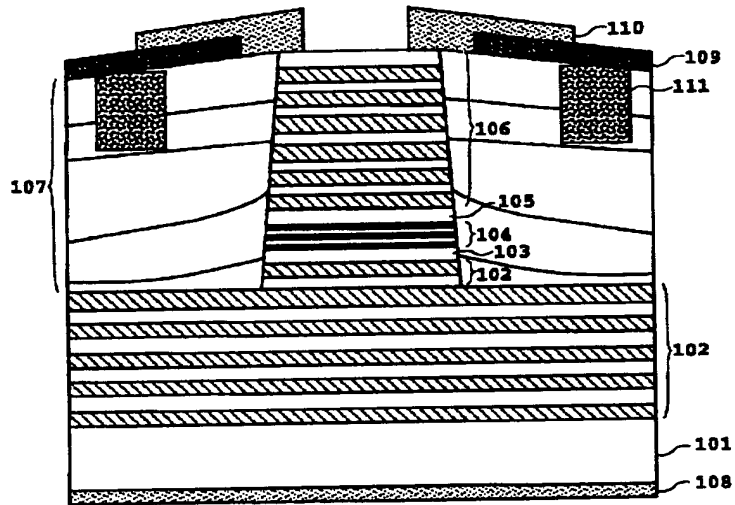
【符号の説明】

- 1 p-GaAs 基板
- 2 $p\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 < y < z$) 分布反射型 (distributed Bragg reflector, DBR) 多層膜反射鏡
- 3 p-InGaP エッチングストップ層
- 4 $p\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_u\text{Ga}_{1-u}\text{As}$ ($0 < y < u < z$) 分布反射型 (distributed Bragg reflector, DBR) 多層膜反射鏡
- 5 non-doped- $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{As}$ 下部スペーサ層

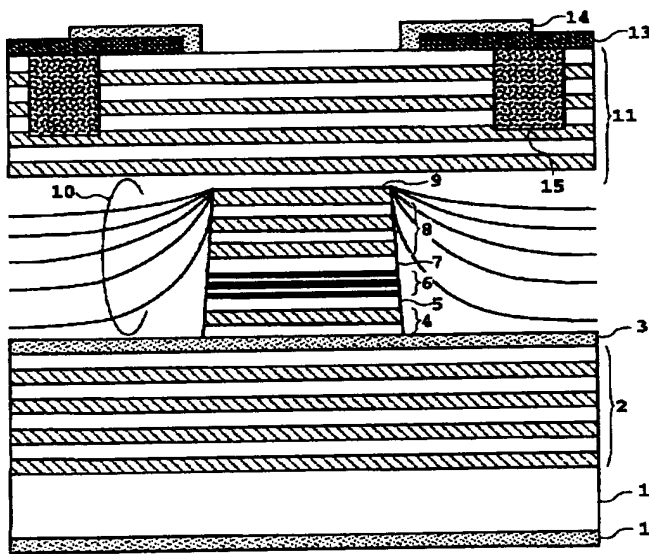
ーサ層

- 6 GaAs/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 多重量子井戸活性層
- 7 non-doped- $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{As}$ 上部スペーサ層
- 8 $n\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_u\text{Ga}_{1-u}\text{As}$ ($0 < y < u < z$) DBR 反射鏡
- 9 n-InGaP 第1回目成長最終層
- 10 AlGaAs または InGaP 半導体埋め込み層 (第2回目成長層)
- 11 $n\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 < y < z$) DBR 反射鏡 (第3回目成長層)
- 12 下部電極
- 13 絶縁膜
- 14 上部電極
- 15 素子分離用構造
- 16 単層半導体埋込層
- 101 p-GaAs 基板
- 102 $p\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 < y < z$) 分布反射型 (distributed Bragg reflector, DBR) 多層膜反射鏡 (斜線部が $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ 、白い部分が $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$)
- 103 non-doped- $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{As}$ 下部スペーサ層
- 104 GaAs/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x \leq w$) 多重量子井戸活性層
- 105 non-doped- $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{As}$ 上部スペーサ層
- 106 $n\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 < y < z$) DBR 反射鏡
- 107 半導体埋め込み層
- 108 下部電極
- 109 絶縁膜
- 110 上部電極

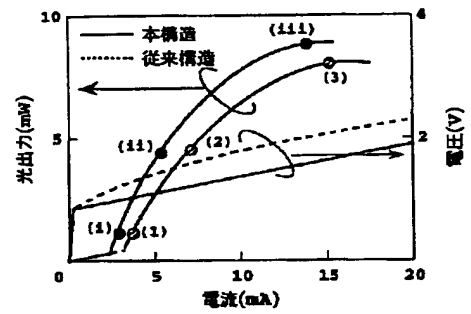
【図 1】



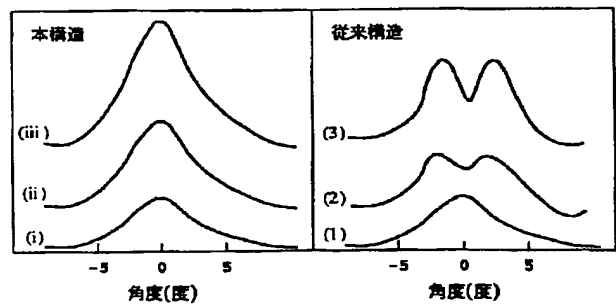
【図 2】



【図 5】

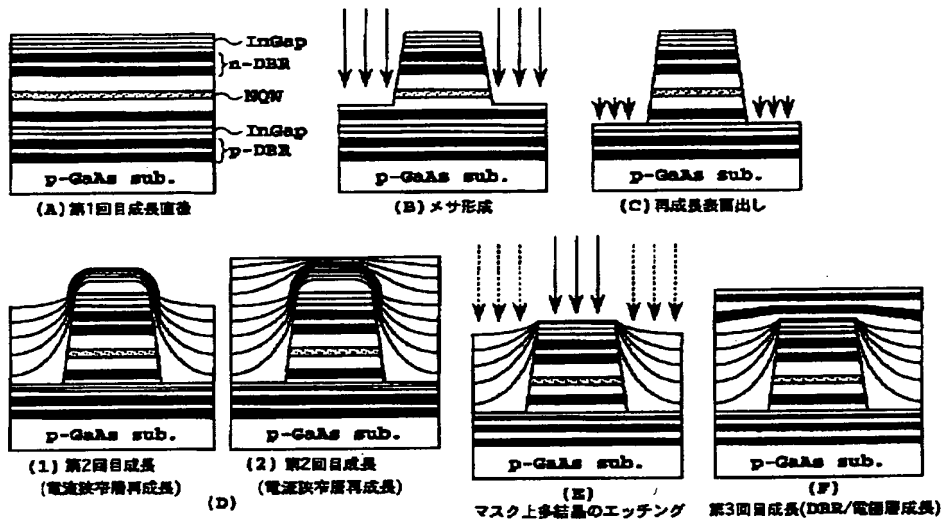


(A)

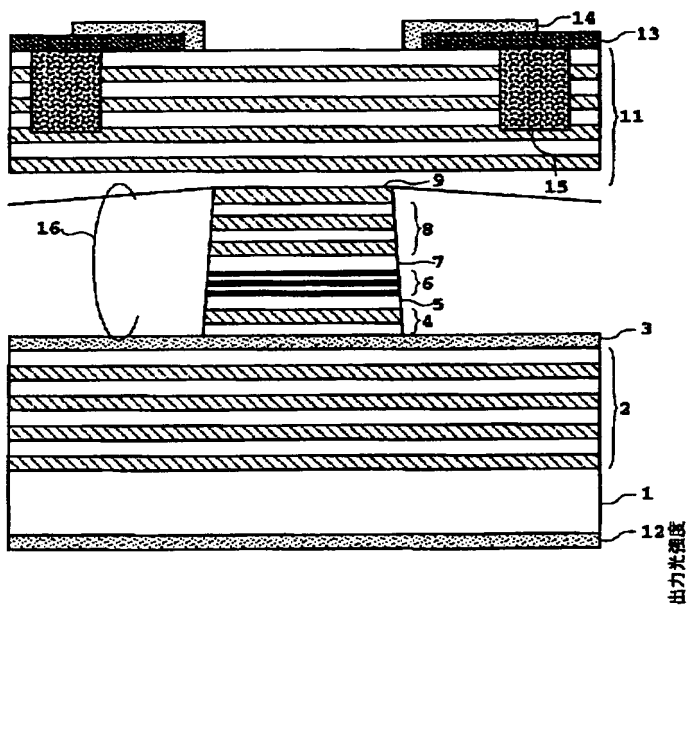


(B)

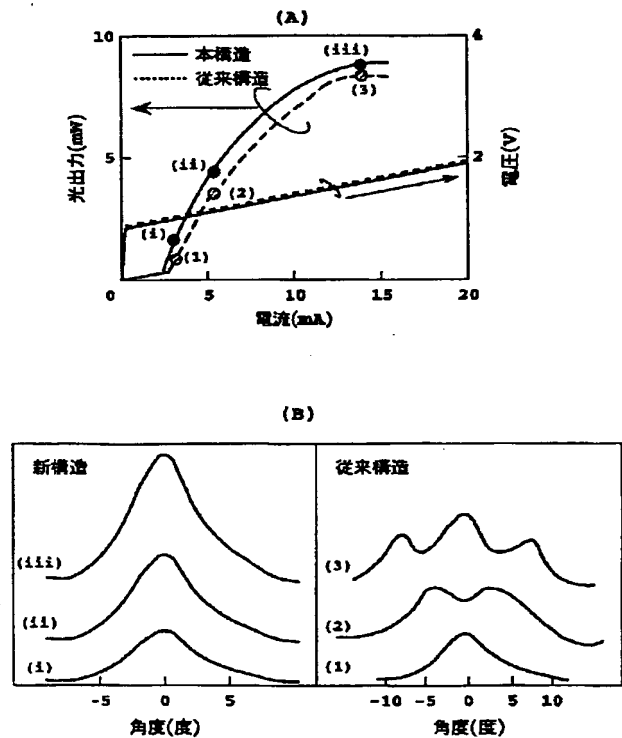
【図3】



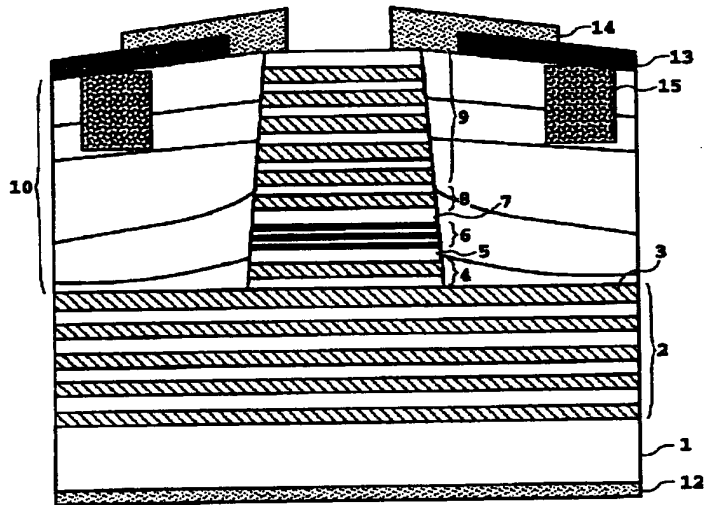
【図4】



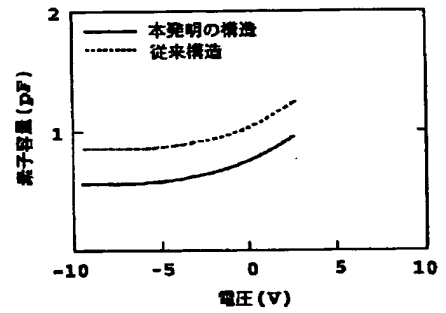
【図7】



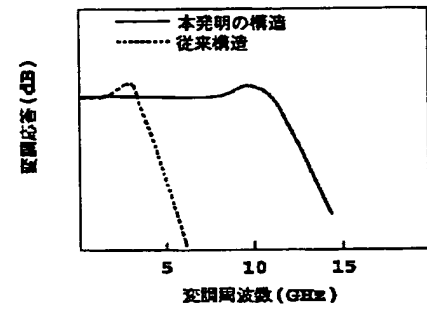
【図6】



【図9】

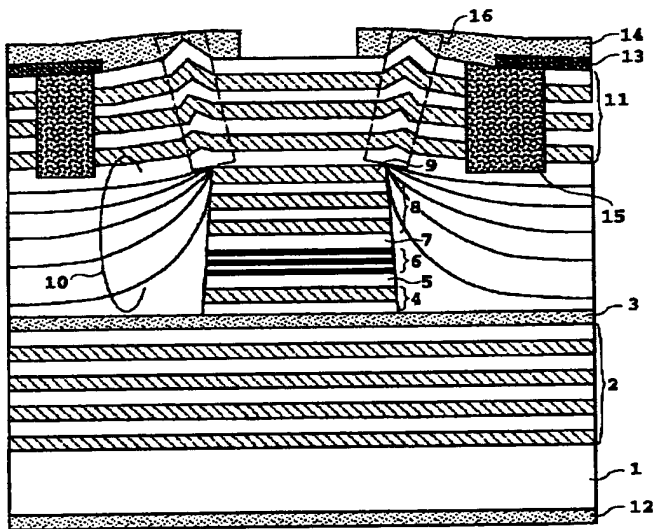


(A)

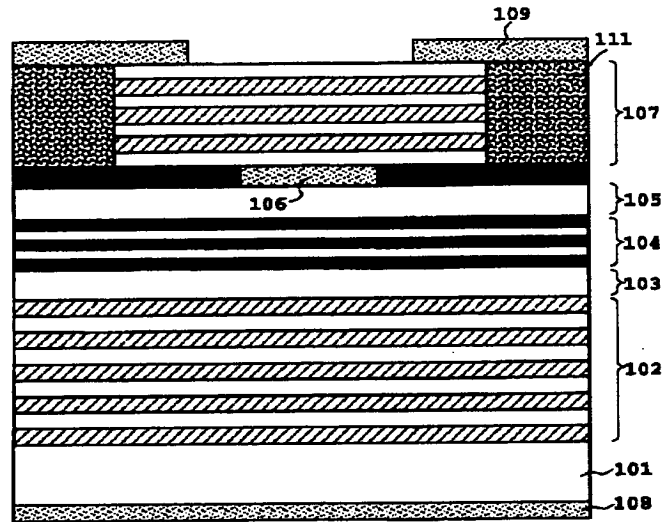


(B)

【図8】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 忠永 修
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 天野 主税
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 黒川 隆志
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.